

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ БІОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПОРТИВНИХ РУХІВ

Носко М.О., Лайуни Рида
Чернігівський державний педагогічний
університет імені Т.Г. Шевченка – Туніс

На сучасному етапі підготовки спортсменів необхідно використовувати сучасні технології по вимірюванню рухів зі складною координаційною структурою. Підвищення ефективності навчально-тренувального процесу не можливе без об'єктивної та якісної інформації при виконанні складних рухів [1].

Застосування в практиці спорту передових досягнень біомеханіки викликало зміни в методології досліджень, які виражаються в їх комп'ютеризації на всіх рівнях, а також розробкою і застосуванням мікрокомп'ютерів. Тому, зараз з'явилися нові більш ефективні методи вимірів із складною високочастотною вимірювальною апаратурою, яка може зафіксувати всі необхідні параметри, серед яких на перший план висувуються дистанційні і безконтактні методи вимірювань [2].

Нами зроблено біомеханічний комплекс, який включає: комп'ютер, методики міотонометрії, тензодинамометрії, стабілографії, відеозйомку та відеокомп'ютерний аналіз, електроміографію, хронометрію, а також програму статистичної обробки результатів досліджень.

Для відбору основних груп м'язів, які беруть найбільшу участь при виконанні технічних дій, застосовувався міотонометр Sigma (Сірмаї, Угорщина). За даними Sigma він може застосовуватися для виміру твердості розслабленої і напруженої скелетної мускулатури людини. Виступаюча із приладу натискаюча головка (щуп) передає зусилля крізь пружинний важільний механізм на стрілковий індикатор. Рівень твердості (тону) м'язів визначався за відхиленням стрілки. Прилад своєю основою (поверхня, з середини якої виступає натискаюча головка) ставився на головку досліджуваного м'яза.

Приладом Сірмаї вимірювався тонус м'язів спортсменів, які знаходилися в стандартному горизонтальному положенні. Вимірювання проводились 3-4 рази, визначалось їхнє середнє значення (перші показники міотонометра не враховувались, оскільки м'яз спочатку скорочувався від дотику з стороннім предметом). Усі точки виміру маркувались. Щуп міотонометра знаходився завжди в перпендикулярному напрямку до м'яза так, щоб вся площа щупа стикалася з ним. Усі величини виражені в міотонах (умовні одиниці шкали приладу). В процесі дослідження враховувалось тренувальне навантаження (його об'єм та інтенсивність).

Для якісної та кількісної діагностики біомеханічних властивостей скелетних м'язів волейболістів застосовувався апаратно-програмний комплекс, який дозволяв одержати термінову інформацію в графічній та цифровій формах про стан контролюючих м'язів (як в ізометричному, так і в аусотонічних режимах їх напруги), в реальних умовах спортивного тренування спортсменів.

У процесі діагностики на тіло досліджуваних накладались спеціальні п'єзоелектричні датчики. Сигнали датчиків, які закріплювалися на м'язах, крізь блок вводу інформації поступали в персональну ЕОМ типу IBM PC AT і оброблялись за спеціальною програмою. Сумісна робота датчиків, блока вводу

інформації та персональної ЕОМ дозволяла в реальному масштабі часу вираховувати та візуалізували біомеханічні характеристики досліджуваних м'язів: частота коливань м'язів в ізотонічній та ізометричній нарузі (Vізотон. та Vізом., вимірювались в Гц), енергетика коливань м'язів в ізотонічній та ізометричній нарузі (Fізотон. та Fізом., вимірювалась в умовних одиницях), індекс жорсткості (IF в Гц), індекс демпферності (IQ — в умовних одиницях).

Використання даного апаратного комплексу дало можливість об'єктивно оцінити якість роботи скелетної мускулатури в реальному масштабі часу дослідження. Вироблена спеціальним програмовим забезпеченням інформація виводилась на екран ПЕОМ, на принтер і записувалась на диск у визначений файл, що дозволяло документувати її в друкованому вигляді та зберігати одержану інформацію за проведеними вимірюваннями. Це давало можливість утворювати бази даних за проведеними дослідженнями, обробляти одержану інформацію про стан багатьох досліджених. Основою апаратно-програмового комплексу є ПЕОМ типу IBM PC AT, в корпусі якої установлювалась універсальна плата перетворювача електричних сигналів. До входу плати підключався крізь підсилювач сигналів п'єзоелектричний інерційний акселерометр, чуттєвий елемент даного комплексу.

Тензодинамографічний метод реєстрації динамографічних характеристик рухів виконувався динамометричним комплексом «Модуль», що складався із динамометричної платформи ПД-ЗА, первинного перетворювача ПП-6, призначеними для виміру статистичних і динамічних опорних реакцій спортсменів у трьох взаємоперпендикулярних площинах. Номінальне вимірювання зусилля: за вертикальною віссю $\pm 1000 \text{ кгс} / 980 \text{ Н}$ /, за горизонтальною віссю $Y \pm 500 \text{ кгс} / 490 \text{ Н}$ /, за горизонтальною віссю $X \pm 500 \text{ кгс} / 490 \text{ Н}$ /.

Комплекс має 6 вимірювальних компонентів /Z1, Z2, Z3, Y1, Y2, X/. Три датчики сили (типу ДС-2-ІД). Максимально допустиме зусилля на вертикальну вісь при умові навантаження за центром платформи 3000 кгс / 2940 Н/, номінальна чуттєвість кожного компонента по кожній осі 5 мВ/кгс / 5 мВ/Н/. Відхилення: за рахунок нелінійності по кожній осі — 0,812%; за рахунок гістерезису по кожній осі — 0,73%; за рахунок взаємовпливу по вісям — 3,2%.

Електротензодинамографічні дослідження проводились з метою вивчення кількісних характеристик опорних взаємодій тіла спортсменів за виконанням ними технічних дій.

Для проведення досліджень використовувався автоматизований вимірювально-обчислювальний комплекс для виміру опорних реакцій за допомогою вже описаного комплексу «Модуль».

У процесі його використання реалізувались основні біомеханічні характеристики опорних реакцій волейболістів.

Тестовим завданням служило виконання технічних дій (нападаючий удар з місця і з розбігу, блокування, прийом передачі м'яча знизу, прийом передачі м'яча зверху, подача) волейболістами різного віку, в різних режимах навантаження (т.б. в звичайних і з гравітаційним навантаженням). Реєстрація показників технічних дій здійснювалась після попереднього включення комплексу апаратури в мережу (20-30 хв.). Основне відхилення реєстрації всіх вимірюваних показників складало не більше $\pm 1\%$ від максимального значення величини реєстрованого струму.

Визначення показників за виконанням технічних дій волейболістів різних вікових груп із навантаженням і без нього здійснювалось оперативно й поетапно.

Новим етапом дослідження удосконалення методики вимірювань і оцінки статодинамічної усталеності тіла людини та системи тіл стала електронна стабілографія. Використання сучасного прикладного програмного забезпечення, розробленого в середовищі DELPHI3, і блоку спяження стабілографічної платформи з персональним комп'ютером дало можливість збудувати автоматизований вимірювальний комплекс "Стабілограф", який дозволяє оперативно виконувати оцінку індивідуальної усталеності до переміщення ЗЦМ тіла чи системи тіл за сагітальною та фронтальною вісями.

До комплексу входять: тензостабілографічна платформа, тензопідсилювач ТОПАЗ-4; блок номеруючих підсилювачів (БНП); плата вводу-виводу аналогових сигналів ADA-1292; персональний комп'ютер із спеціальним програмним забезпеченням.

Розроблена методика стабілографії дає можливість вирішити ряд актуальних спортивно-педагогічних задач:

- досліджувати статодинамічну усталеність (СДУ) тіла спортсмена та системи тіл, дати кількісну та якісну оцінку цієї усталеності, доповнити знання про спортивну техніку вправ;
- здійснювати контроль якості навчання вправам, які пов'язані з складною руховою навичкою зберігання рівноваги тіла;
- визначати функціональний стан організму спортсмена за показниками СДУ, реєструючи стан сенсорних систем і перенесення тренувальних навантажень за показниками координат ортоградної та перевернутої позиції тіла (до тренування, після розминки, після видів багатоборств тощо);
- визначати рівень та динаміку тренуваності функції балансування в системі взаємодіючих тіл;
- проводити прогнозування та професійний відбір спортсменів у команду.

Для оцінки СДУ тіла людини і системи тіл пропонується комплекс тестів.

Оцінка СДУ в тестах здійснювалася за аналізом характеристик особливостей позицій (амплітуди переміщення) ЗЦМ у часі, а також за розподілом частот коливань ЗЦМ.

Структуру статодинамічної усталеності при виконанні рівноваги різної координатної складності розкривають наступні елементи:

- пози та позиції тіла, час їх фіксації;
- амплітуда, частота й період коливань тіла та системи тіл;
- час стабілізації усталеності;
- функціональні зв'язки й відношення між усіма структурними елементами.

Оптимальними взаємозв'язками структурних елементів є: довгий час фіксації поз та положень тіла, оптимальні амплітуда, частота і період коливань, малий час стабілізації усталеності, сформований темпо-ритм у динамічних рівновагах. Співвідношення двох ведучих компонентів СДУ – амплітуди й чистоти коливань тіла – має свої специфічні особливості для різноманітних спортивних спеціалізацій та спортсменів різної спортивної кваліфікації.

За підсумками стабілографічних досліджень можна зробити висновки про рівень та динаміку СДУ в структурі функціональної та технічної

підготовленості спортсменів.

Стабілографічні дослідження проводились з метою вивчення кількісних критеріїв статичної стійкості при виконанні стандартних положень: поза Мортіза-Ромберга (Romberg, 1840) вихідного положення при прийомі м'яча знизу в стаціонарі, а також визначення впливу фізичних вправ вибіркового характеру, т.б. після гравітаційного тренування в костюмі.

Крім статичних положень досліджувались і технічні прийоми техніки гри у волейбол в динаміці, т.б. виконувались в русі всі основні дії, визначався вплив фізичних вправ, т.б. після гравітаційного тренування у костюмі.

Об'єктом дослідження стали коливання загального центру мас (ЗЦМ) тіла спортсменів при статичних позах і в русі у двох взаємоперпендикулярних площинах, т.б. сагітальній та фронтальній. Апаратний комплекс складався з тензоплатформи «Модуль-ПД-ЗА» із блоком стабілографії, блоку повторного перетворення «БПП-2» і комп'ютера з принтером. Реєстрація показників здійснювалась після попереднього вмикання комплексу апаратури в мережу (20-30 хв.). Відхилення не більше 1% від максимального значення величини реєструючого струму.

Основними кількісними критеріями статичних поз та виконання основних технічних дій волейболістів у динаміці, як із навантаженням (у гравітаційному костюмі), так і без навантаження були показники амплітудних, частотних та інтегральних коливань в сагітальній і фронтальній площинах: кількість коливань, ns , nf (к/р); частота коливань, fs , ff (Гц); період коливань, Ts , Tf (с); довжина хвилі коливань, js , jf (см); розмах коливань S , F (см) і площа коливань ЗЦМ тіла, Csf (см²). Визначався вплив фізичних вправ (гравітаційний костюм і без нього), а статична стійкість.

Відеозйомка змагальної діяльності здійснювалась в стандартних умовах із додержанням всіх біомеханічних метрологічних вимог із застосуванням відеокамери Panasonic NV-180. Відеозйомка виконана за двома командами, граючими одночасно, а також за однією командою, яка нас цікавить, окремо за декількома гравцями, одним гравцем. За необхідністю фіксувалась техніка виконання одного технічного елемента волейболу, наприклад, нападаючого удару чи блокування. При цьому визначались частота та ефективність виконання технічних дій у волейболістів різних вікових груп, частота виконання із визначених зон майданчика, а також кількісні показники, які залежно від вирішеного завдання характеризують змагальну діяльність волейболістів.

Автоматизована система обробки відеограм «АСОВ», розроблена кафедрою кінезіології НУФВС під керівництвом проф. Лапутіна А.М., дає можливість не тільки відслідкувати та оцифрувати переміщення біоланцюгів тіла людини в одноплощинній руховій дії та виконувати на базі спеціалізованих програмних продуктів широкий спектр математично статистичних процедур.

Стандартний відеотелевізійний блок системи дозволяє відтворювати відеозображення з частотою 50 напівкадрів за секунду. Він сумісний з системою аналогового цифрового перетворення в комп'ютері IBM PC/AT-486. Підрахунок координат точок вивченого об'єкта здійснювався в цій системі зі стоп-кадру відеофільму, відтворюваного на відеомоніторі, за допомогою аналогового перетворювача. В якості моделі опорно-рухового апарату людини використовувався 14-сегментальний розгалужений кінематичний ланцюг, кілька якого за геометричною характеристикою відповідали великим сегментам тіла

людини, а точки відрахунку координат — центрам обертання основних суглобів [3]. Програмове забезпечення комп'ютера-відеоаналізатора дозволяло розраховувати кінематичні параметри руху будь-якої безцифрової (занесеної в пам'ять) точки як в рухливій соматичній, так і в інерційній системі координат. Швидкість відеозйомки для стандарту п — 25 кадр/с⁻¹. Враховувалися всі метрологічні вимоги, які дозволяли звести до мінімуму систематичні та випадкові відхилення, що виникали внаслідок специфічних властивостей оптики, правильного масштабування площини зйомки з метою дальшого визначення реальних координат фіксуючих точок і відповідним орієнтуванням камери в просторі відносно площини руху. Для зменшення відхилень виміру просторових характеристик під час руху спортсменів при зйомці використовувався високошвидкісний електронний режим, який дозволяв знімати з витриманістю 0,001с. Зменшення погрішності обчислювань часових і просторово-часових характеристик, пов'язаних зі швидкістю протягування плівки і випадкової зупинки апаратури при кадровому «листанні» відображення на висококомп'ютерному комплексі здійснювалось за рахунок кодування відеоканалу, який при скануванні розпізнавався і рахувався відеокомп'ютером [2].

Досвід використання методики відеокомп'ютерного аналізу в гравітаційному тренуванні свідчить про те, що цей підхід в біомеханічному моделюванні й власне сам відеокомп'ютерний аналіз ефективний не тільки у волейболі, а й в усіх видах рухових дій.

Для того, щоб максимально ефективно використовувати можливості розробленої методики в процесі гравітаційного тренування у волейболі необхідно спочатку розробити біомеханічні моделі тих чи інших технічних дій, які дозволяють волейболістам при їх реалізації впевнено досягати високих результатів.

Метод електроміографії дозволяє досліджувати функціональний стан м'язів, які беруть активну участь у тій чи іншій технічній дії волейболістів різних вікових груп.

Біоелектричні потенціали відводились від зовнішніх м'язів: ікроножного м'яза гомілки, переднього прямого м'яза стегна, м'язи розгинача спини, передніх і задніх пучків дельтовидного м'яза, двоголового і трьоголового м'яза плеча, великого грудного м'яза.

Комплекс апаратних засобів включав набір таких елементів: електроміографічні датчики (електроди), підсилювач біопотенціалів, система сигналів ОС, яка складалась із комп'ютера IBM PC/AT-486, дисковод «Електроніка МС-5309», монітора «Електроніка 32 ВТЦ 201» і принтера «ЕС 7189 СМ 6325». Як сигнали ОС використовувалась акустична й візуальна сигналізація. Акустична сигналізація виявлялась у формі переривчатих сигналів, візуальна — з'явленням на екрані монітора ЕМГ, яка змінювалась залежно від біоелектричної активності досліджуваних м'язів, що беруть участь у русі.

Електроди для зняття біоелектричних потенціалів виготовлялись із гнучкої гуми, в яку були вмонтовані посрібнені чашечки діаметром 5 мм. Перед накладанням електродів шкіра спеціально оброблялась. Точки накладення електродів визначались за рекомендацією О.В.Богданова та інших.

Електрична активність кожного із досліджуваних м'язів визначалась за методом, описаним Р.С.Персон. Для визначення області рухової точки

використовувались схеми Альтенбуртера. Крім цього, використовувався такий прийом: досліджуваному пропонували максимально скоротити м'яз за виконанням такого руху, в якому він бере участь як «ведучий». В центрі нього розміщена рухова точка [7].

Поряд з вищесказаною методикою визначення рухової точки використовувався прилад електропунктури «Рефлекс-301», який дав нам можливість, визначати місцезнаходження точок акупунктури контактним способом та контролю їх електричного опору.

Метод електроміографії дозволяє оперативно давати аналогічну та дискретну інформацію про стан м'язів, їх рецепторних взаємодій за виконанням рухів, т.б. технічних дій волейболістами різних вікових груп.

Метод хронометрії як окрема методика нами не використовувалася. При виконанні технічних дій з методами тензодинамографії використовувалась хронометрія.

У пропонованому дослідженні ми дотримувались основної фазової структури техніки виконання нападаючих ударів. Досвід проведення цих досліджень дозволяє рекомендувати для зручності розрахунків, правильного розуміння і наступної реалізації техніки нападаючого удару визначну послідовність виміру його просторово-часових характеристик. Відмінність запропонованого підходу полягає в тому, що дотримувались фазової структури на основі даних тензодинамометрії, а це надало можливість більш точно регламентувати довготу II-ї та III-ї фаз, а саме: довгота II-ї фази включає в себе тільки час взаємодії з опорою, III-ї фази — час знаходження спортсмена в безопорному положенні й включає в себе власне виконання нападаючого удару, IV-а фаза — час приземлення, т.б. контакт з опорою після стрибка. Є відмінності, які полягають в тому, що II-а і III-я фази нападаючого удару розділені на підфази, таким чином із чотирьох фаз утворилося сім підфаз I-а фаза — розбіг не має мікрофаз ($T_p = T_1$); II-а фаза — стрибок складається із двох мікрофаз ($T_{pr} = T_2 + T_3$); III-я фаза — власне нападаючий удар (безопорна фаза) складається з трьох мікрофаз ($T_{уд} = T_4 + T_5 + T_6$) та IV-а фаза — приземлення ($T_p = T_7$). Часова структура мікрофаз: T_1 — ($T_p = T_1$) — час виконання останнього кроку розбігу; T_2 — ($T_{pr} - T_3$) — час від початку стрибка (від M1 до M2) до моменту розвитку максимального зусилля (F_{max}); T_3 — ($T_{pr} - T_2$) — час від розвитку максимального зусилля (від M2 до M3) до закінчення контакту з опорою; T_4 — ($T_{уд} - (T_5 + T_6)$) — час від початку безопорної фази до контакту з м'ячем, т.б. час зльоту (від M3 до M4); T_5 — ($T_{уд} - (T_4 + T_6)$) — час контакту з м'ячем (від M4 до M5); T_6 — ($T_{уд} - (T_4 + T_5)$) — час спускання, від моменту припинення контакту з м'ячем до контакту з опорою (від M5 до M6); T_7 — ($T_p = T_7$) — час приземлення [1].

Одержані результати виконаних досліджень оброблялися методами математичної статистики. Математична обробка здійснювалась на IBM PC/AT-486 із використанням програмового забезпечення «Windows-95», т.б. за стандартними програмами на основі рекомендацій, поданих у списку [4,5,6].

Одержані таким чином дані оброблялись методами математичної статистики. Застосовувались такі методи: методи аналізу середніх величин із графічною побудовою гістограм за кожним параметром, мірами для опису розподілу даних параметра на гістограмі є коефіцієнти: асиметрії — g_1 , він знаходиться $g_1 = M^3 / (f^2) / i$ кюртозії (ексцесу) — g_2 , він знаходиться $g_2 = M^4 /$

$f^2)^2$. Де M_1 — центральний момент в популяції (набір даних чи сукупність). Якщо щільність розподілу симетрична, то $g_1 = 0$. Якщо щільність має довгий «правий хвіст», то $g_1 > 0$, а якщо довгий «лівий хвіст», то $g_1 < 0$. За нормальним розподілом g_2 дорівнює 3. Якщо розподіл сконцентрований навколо середнього більш, ніж нормальний, то $g_2 < 3$, якщо ж менший, то $g_2 > 3$. Застосовувались також методи численного кореляційного аналізу (визначення коефіцієнту кореляції, рівняння регресії, характеристик статичної достовірності вирішення), аналіз парних залежностей (матриця коефіцієнтів парної кореляції), покроковий регресивний аналіз, кластерний аналіз.

Методи математичної статистики, які застосовувалися в роботі, були направлені на об'єктивізацію аналізу одержаних результатів. Їх вибір був зумовлений метою і завданнями проведених досліджень та характером запланованих експериментів.

При цьому визначалися такі характеристики:

— середнє арифметичне —	$\bar{X}$;
— середнє квадратне відхилення —	S ;
— стандартна помилка середнього арифметичного —	$S_{\bar{x}}$;
— коефіцієнт варіації —	V ;
— критерій t-Стюдента —	t ;
— значення змін —	P ;
— довірливі межі середніх величин —	$\bar{X} \pm t_{\alpha} S_{\bar{x}}$,
— парний коефіцієнт кореляції —	r ;
— коефіцієнт детермінації —	d ;
— значення коефіцієнта кореляції —	p ;
— довірливий інтервал для коефіцієнта кореляції —	g ;
— коефіцієнт рівняння регресії —	b ;
— вільний член рівняння регресії —	a .

Для перевірки відповідності досліджуваних вибірок нормальному розподілу використовувались критерії t-Стюдента і Шапіро-Уїлки. Розрахунки показали, що одержані в результаті експерименту параметри характеризуються змінністю, допустимою для нормального розподілу [1].

Література

1. Носко Н.А. Педагогические основы обучения молодежи и взрослых движениям со сложной биомеханической структурой. К.: Науковий світ, 2000. — 336 с.
2. Лапутин А.Н., Архипов А.А., Лайцин Р., Носко Н.А. и др. Моделирование спортивной техники и видеокомпьютерный контроль в технической подготовке спортсменов высшей квалификации // Наука в Олимпийском спорте. — 1999. — Специальный выпуск. — С. 102 — 109.
3. Бернштейн Н.А. О построении движений. — М.: Медиздат, 1947. — 436 с.
4. Масальгин Н.А. Математико-статистические методы в спорте. — М.: Физкультура и спорт, 1974. — 154 с.
5. Начинская С.В. Математическая статистика в спорте. — К.: Здоровье, 1978. — 134 с.
6. Основы математической статистики / Под ред. Иванова В.С. — М.: Физкультура и спорт, 1990. — 176 с.
7. Altenburger H. Elektrodiagnostik. Bumke B., Foerster O. — Handbuch der Neuroogie. Berlin, 1937, Bd.3, s.747.